

**PCT**  
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro  
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



<b>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> :</b> <p style="text-align: center; margin: 10px 0;"><b>B23K 26/08</b></p>	<b>A1</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer:</b> <b>WO 00/18535</b>  <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 6. April 2000 (06.04.00)
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/EP98/06217  <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 30. September 1998 (30.09.98)  <b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> LCTEC LASER- UND COMPUTERTECHNIK GMBH [DE/DE]; Tiroler Strasse 85, D-87459 Pfronten (DE).  <b>(72) Erfinder; und</b> <b>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):</b> WRBA, Peter [DE/DE]; Rosenweg 10, D-87647 Unterthingau (DE). HILDEBRAND, Peter [DE/DE]; Gschwend 34, D-87484 Nesselwang (DE). KUHL, Michael [DE/DE]; Welfenstrasse 12 B, D-87629 Füssen (DE). REISACHER, Martin [DE/DE]; Mariabergerstrasse 69 a, D-87439 Kempten (DE).  <b>(74) Anwalt:</b> BEETZ & PARTNER; Steinsdorfstrasse 10, D-80538 München (DE).	<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>	

**(54) Title:** METHOD AND DEVICE FOR REMOVING MATERIAL FROM A SURFACE OF A WORK PIECE

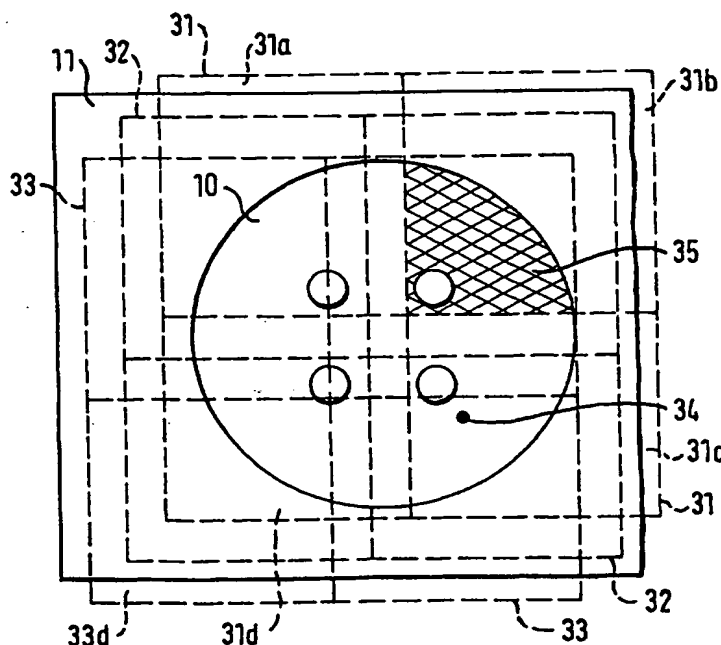
**(54) Bezeichnung:** VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR MATERIALABTRAGUNG AUS EINER FLÄCHE EINES WERKSTÜCKS

**(57) Abstract**

The invention relates to a method for removing material from a surface of a work piece. According to this method, the material is removed layer by layer by irradiating a processing area on the surface of a work piece with a laser beam emanating from a processing head. The material is removed layer by layer using a laser beam guide which guides the laser across the surface of the work piece inside an ablation area which is predetermined by the device. The laser beam guide comprises positioning steps in which the relative position of work piece and processing head are changed according to a first and/or second criterion once the removal of material has started. In addition, the relative position is adjusted such that for identical ablation areas, a boundary of the ablation area is placed on different areas of the surface of the work piece.

**(57) Zusammenfassung**

Ein Verfahren zur Materialabtragung aus einer Fläche eines Werkstücks, bei dem der Materialabtrag schichtweise durch Bestrahlen einer Bearbeitungsstelle auf der Werkstückfläche mit einem Laserstrahl aus einem Bearbeitungskopf erfolgt, wobei der schichtweise Abtrag mit Hilfe einer Laserstrahlführung erfolgt, die den Laser innerhalb eines durch die Vorrichtung vorgegebenen Bearbeitungsbereichs über die Fläche des Werkstücks führt, hat Positionierungsschritte, in denen nach Beginn des Materialabtrags die Relativposition von Werkstück und Bearbeitungskopf nach Maßgabe eines ersten und/oder zweiten Kriteriums verändert und so eingestellt wird, daß eine Grenze des Bearbeitungsbereichs für gleiche Bearbeitungsstellen auf unterschiedlichen Bereichen der Werkstückfläche zu liegen kommt.



# **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshon	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

**Verfahren und Vorrichtung zur Materialabtragung  
aus einer Fläche eines Werkstücks**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Materialabtragung aus einer Fläche eines Werkstücks gemäß den Oberbegriffen der unabhängigen Ansprüche. Ein Verfahren zur Oberflächenbearbeitung ist aus der DE 42 09 933 bekannt.

Ein für komplexe Formen geeignetes Herstellungsverfahren ist es, aus dem vollen heraus Material entsprechend der gewünschten Form abzutragen. Dabei kann entweder die entstehende Vertiefung das zuletzt gewünschte Endprodukte sein (beispielsweise für eine Gußform), oder das verbliebene Material kann einem herzustellenden Teil entsprechen. Eine Art des Materialabtrags für insbesondere feine Strukturen ist die mittels eines Laserstrahls.

Fig. 1 zeigt eine entsprechende Vorrichtung schematisch. Ein Ständer 16 weist einen festen oder verschieblichen

Werkstücktisch 14 auf, auf dem sich ein Werkstück 11 befindet. Ebenfalls am Ständer 16 befestigt ist ein Laserkopf 13, der einen Laserstrahl 12 emittiert, um damit im Werkstück 11 ein Gesenke 10 zu erzeugen. Der Materialabtrag erfolgt jeweils aus der gerade zugänglichen Fläche/Oberfläche des Werkstücks. Der vergleichsweise hochenergetische Laserstrahl bestrahlt die gerade zugängliche Werkstückoberfläche und führt dort zu einer Verdampfung bzw. zum Schmelzen des Werkstückmaterials. In der Regel erfolgt der Abtrag schichtweise. Der Laserstrahl wird mittels einer Laserstrahlführung abtastend über die Werkstückoberfläche geführt, beispielsweise so, daß er mäandernd die Oberfläche überstreicht und dabei eine Schicht entsprechend gewünschten Grenzen durch Aufschmelzen und Verdampfen abträgt.

In Fig. 1 ist schematisch die x- und z-Koordinate angedeutet. Die y-Koordinate sticht nach unten durch die Zeichnungsebene. Die Schichten, in denen der Abtrag erfolgt, liegen jeweils im wesentlichen in der x-y-Ebene auf unterschiedlichen Positionen der z-Achse.

Konstruktionsbedingt ist der Arbeitsbereich der Vorrichtung in der Regel eingeschränkt. Beispielsweise kann der Laserstrahl nicht beliebig weit geführt bzw. ausgelenkt werden. In Fig. 1 ist dies unten schematisch dargestellt. Durch 13 wird die Laserlichtquelle symbolisiert. 12a und 12b bezeichnen jeweils die weitestmöglichen Auslenkungen des Laserstrahls in x-Richtung (beispielsweise durch Spiegel). Er kann dann in x-Richtung maximal einen Bereich  $B_x$  überstreichen. Sinngemäße Überlegungen gelten für die y-Richtung. Die Vorrichtung hat dadurch einen Bearbeitungsbereich  $B$ , der üblicherweise rechtwinklig begrenzt ist und in x-Richtung eine Abmessung  $B_x$  und in y-Richtung eine Abmessung  $B_y$  hat.

Wenn der Materialabtrag in einem Bereich des Werkstücks 11 erfolgen soll, der größer als der Bearbeitungsbereich  $B_x$ ,  $B_y$  ist, ist es prinzipiell möglich, nach dem Abtrag einer Schicht im einen Bearbeitungsbereich die Relativposition von Werkstück 11 und Laserkopf 13 zu verändern. Dadurch verschiebt sich die Lage des Bearbeitungsbereichs auf dem Werkstück in geeigneter Weise, so daß nun ein weiterer Bereich auf dem Werkstück bearbeitet werden kann.

In Fig. 2 ist dies schematisch gezeigt. Fig. 2 zeigt in Draufsicht und als Schnitt ein herzustellendes Gesenk 10. Beispielhaft angenommen wird eine flache Schüssel, in der vier Säulen stehenbleiben. Die Negativform ähnelt einem großen Knopf. Mit 21-24 sind vier Positionierungen für den Bearbeitungsbereich der Vorrichtung gezeigt. Sie sind so gewählt, daß sie unmittelbar aneinanderliegen und in Kombination die gewünschte Fläche abdecken. Jeder der Bearbeitungsbereiche hat die Abmessungen  $B_x$  und  $B_y$ . Somit ergibt sich ein erstes Kriterium, das eine Veränderung der Relativposition zwischen Werkstück 11 und Laserkopf 13 notwendig macht. Es entspricht der Notwendigkeit der Verschiebung des Bearbeitungsbereichs relativ zum Werkstück so, daß eine Werkstückfläche bearbeitet werden kann, die so groß ist, daß sie nicht vollständig in den Bearbeitungsbereich der Vorrichtung paßt.

Ein weiteres Kriterium zur Veränderung der Relativposition wird bezugnehmend auf das Schnittbild in Fig. 2 erläutert. Bezugsziffer 20 bezeichnet die Kontur des oben in Draufsicht gezeigten Gesenks. Nimmt man aber ein kleineres Gesenk an, wie es beispielsweise durch die gestrichelte Kontur 20' angedeutet ist, würde ein solcher Werkstückbereich durchaus in den Bearbeitungsbereich  $B_x$ ,  $B_y$  der Vorrichtung passen. Gleichwohl können dann Probleme dahingehend auftreten, daß gewisse Bereiche für das Laserlicht abgeschattet

sein können. Im Schnittbild der Fig. 2 ist dies bei den Bereichen 26a der Fall, wenn man sich die Lichtquelle als mittig über dem Gesenk stehend denkt. Andere Bereiche 26b können u.U. das Laserlicht unter einem so schleifenden Schnitt empfangen, daß definierte Abtragungsverhältnisse nicht mehr eingestellt werden können. Somit kann es auch bei "kleinen" Gesenken wünschenswert sein, die Relativposition zu ändern, um Abschattungen zu vermeiden und/oder um geeignete Auftreffwinkel des Laserlichts auf Wandungen des Gesenks zu erhalten. Nochmals zurückgehend zu Fig. 1 unten kann dies dahingehend umformuliert werden, daß die Veränderung der Relativposition dahingehend wünschenswert ist, daß bestimmte Bearbeitungsstellen des Werkstücks in bestimmten Teilbereichen des Bearbeitungsbereichs Bx, By wünschenswert ist. Beispielsweise können mit dem rechten Bereich des Kegels in Fig. 1 unten die linken Wände der Säulen und die sich mit ihnen ergebenden Winkel am Boden des Gesenks vergleichsweise günstig erreicht werden, während mit dem linken Bereich des Kegels in Fig. 1 unten die rechten Wände der zu bildenden Säulen und die Winkel damit am Boden des Gesenks günstig erreicht werden können.

Die beiden Kriterien können kombiniert miteinander notwendig werden, beispielsweise bei der Herstellung des in Fig. 2 gezeigten Gesenks, das einerseits größer als der Bearbeitungsbereich ist und andererseits Abschattungen und vergleichsweise senkrechte Wände aufweist.

Wenn beim schichtweisen Abtrag nun die Relativpositionen nach Maßgabe der obengenannten Kriterien verschoben werden, können Probleme dahingehend auftreten, daß bestimmte Bearbeitungsstellen des Werkstücks immer im gleichen Bereich des Bearbeitungsbereichs der Vorrichtung liegen. Grundsätzlich ist nun davon auszugehen, daß die Bearbeitungseigenschaften und insbesondere die Genauigkeit nicht für den ge-

samten Bearbeitungsbereich Bx, By homogen ist. Kritisch sind hierbei insbesondere die Randbereiche, weil hier in irgendeiner Form Unstetigkeiten herrschen, sei es, weil der Laserstrahl an- bzw. ausgeschaltet wird oder weil die Bewegung in beispielsweise x-Richtung angehalten wird und eine Bewegung in y-Richtung aufgenommen wird. Diese Unstetigkeiten bewirken Fertigungsungenauigkeiten, die sich beim schichtweisen Aufbau des Gesenks nachteilig addieren können.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Materialabtragung aus einer Fläche eines Werkstücks anzugeben, bei denen Herstellungsungenauigkeiten infolge ungleichmäßiger Abtragseigenschaften im Bearbeitungsbereich vermieden werden können.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. Abhängige Ansprüche sind auf bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung gerichtet.

Erfindungsgemäß wird die Relativpositionierung zwischen Werkstück und Bearbeitungskopf zusätzlich zu einem oder den beiden obengenannten Kriterien so eingestellt, daß die Grenzen des Bearbeitungsbereichs für gleiche Bearbeitungsstellen (bezüglich x- und y-Koordinate) auf unterschiedlichen Bereichen der Werkstückfläche zu liegen kommen.

Erfindungsgemäß wird dafür Sorge getragen, daß in einer tieferen Schicht die Bearbeitungsbereichsgrenzen anders auf dem Werkstück liegen als in einer früheren Schicht. Dadurch können zwar nicht mögliche Ungleichmäßigkeiten innerhalb des Bearbeitungsbereichs vermieden werden. Die Ungleichmäßigkeiten addieren sich jedoch nicht, sondern mitteln sich durch die Grenzverschiebung zum einen heraus und können zum anderen regelungstechnisch aufgefangen werden.

Explizit sei hier noch auf folgendes hingewiesen: Zeitlich sehr nahestehend zum Anmeldetag dieser Anmeldung ("patching") hat die Anmelderin zwei weitere Anmeldungen betreffend Verfahren und Vorrichtungen zur Laserbearbeitung eines Werkstücks eingereicht, nämlich die Anmelde-nummern ..... ("Tiefenmessung u.a.") und ..... ("Trennmittel"). Auf diese Anmeldungen wird hiermit vollinhaltlich Bezug genommen.

Bezugnehmend auf die Zeichnungen werden nun einzelne Ausführungsformen der Erfindung beschrieben, es zeigen:

Fig. 1 eine Vorrichtung, in der die Erfindung angewendet werden kann,

Fig. 2 ein Beispiel für ein herzustellendes Gesenk,

Fig. 3 schematisch die erfindungsgemäße Positionierung der Bearbeitungsbereiche in unterschiedlichen Schichten,

Fig. 4 ein weiteres Beispiel der erfindungsgemäßen Positionierung der Bearbeitungsbereiche in den unterschiedlichen Schichten, und

Fig. 5 eine schematische Darstellung zur Erläuterung von Überlegungen hinsichtlich der Positionierung des Bearbeitungsbereichs.

Fig. 1 wurde schon einleitend erläutert. In ihr kann die Erfindung angewendet werden, indem sie beispielsweise in einer nicht gezeigten Steuerung bzw. Regelung implementiert wird. Die Relativposition zwischen Laserkopf 13 und Werkstück 11 kann prinzipiell beispielsweise dadurch verändert werden, daß das Werkstück 11 auf einen verfahrbaren Werk-



stücktisch 14 gelegt wird. Die Position des Werkstücktisches 14 kann in x- und y-Richtung steuer- bzw. regelbar sein. Statt dessen oder zusätzlich hierzu kann auch der Laserkopf 13 im Vergleich zum Ständer 16 in x- und y-Richtung steuer- bzw. regelbar verschieblich sein.

Wenn nun zur Herstellung eines Gesenks 10 die Relativposition zwischen Werkstück 11 und Laserkopf 13 verschoben werden muß (um ein Werkstück herzustellen, das nicht vollständig in den Bearbeitungsbereich Bx, By der Vorrichtung paßt und/oder um Abschattungen bzw. ungünstige Einfallswinkel des Laserstrahls 12 auf der Werkstückswandung zu vermeiden), wird darüber hinaus die Relativposition so eingestellt, daß in unterschiedlichen Schichten die Grenzen des Bearbeitungsbereichs auf unterschiedlichen Bereichen der Werkstückfläche zu liegen kommen.

In Fig. 3 ist dies schematisch dargestellt. Es wird vom gleichen Gesenk 10 wie in Fig. 2 ausgegangen. Die gestrichelten Strukturen 31, 32 und 33 zeigen jeweils Bearbeitungsbereichsgrenzen in unterschiedlichen Schichten des Gesenks. Beispielsweise kann die Positionierung wie folgt geschehen:

Zum Abtrag einer ersten Schicht werden die Bearbeitungsbereichsgrenzen entsprechend den gestrichelten Linien 31 eingestellt. Es ergeben sich dadurch vier Relativpositionierungen entsprechend den jeweiligen Lagen 31a, 31b, 31c und 31d des Bearbeitungsbereichs. Diese sind zueinander vorzugsweise so gewählt, daß sie unmittelbar aneinander angrenzen. Die einzelnen Relativpositionen entsprechend 31a-d werden nacheinander angesteuert bzw. eingestellt.

Wenn eine der Relativpositionen (z.B. 31b) eingestellt ist, erfolgt innerhalb dieses Bearbeitungsbereichs der Abtrag.

Die Laserstrahlführung und/oder der Laserstrahl selbst werden so angesteuert, daß innerhalb des Bearbeitungsbereichs 31b lediglich im rautig markierten Bereich 35 ein Materialabtrag erfolgt. Beispielsweise kann der Laserstrahl mäandernd über die Fläche geführt werden, wobei die Grenzen entsprechend dem abzutragenden Muster durch Tastung des Laserstrahls und/oder Begrenzung der Führung des Laserstrahls eingestellt werden können.

Nach Beendigung des Abtrags in einem Bearbeitungsbereich 31b wird der nächste Bearbeitungsbereich 31c eingestellt. Prinzipiell wiederholen sich dort die eben geschilderten Vorgänge. Danach wird der Bearbeitungsbereich 31d eingestellt, der als letzter Bearbeitungsbereich angenommen wird. Dann ist der Abtrag in einer Schicht beendet.

Für den Abtrag in der nächsttieferen Schicht können die Relativpositionen nun so gewählt werden, daß sich andere Grenzen für die Bearbeitungsbereiche ergeben, beispielsweise längs der gestrichelten Linien 32. Auch durch diese Grenzziehung wird das Gesenk im Laufe der Zeit vollständig überdeckt. Die Grenzen liegen jedoch in der tieferen Schicht anders als in der höheren. Damit liegen bezüglich ein- und derselben Bearbeitungsstelle (in x- und y-Richtung, z.B. 34 in Fig. 3) die Bearbeitungsbereichsgrenzen in einer Schicht anders als in einer vorherigen Schicht.

Verschiedene Strategien zur Verschiebung der Grenzen 31 bis 33 von Schicht zu Schicht sind denkbar. So kann beispielsweise ein alternierender Ansatz gewählt werden, bei dem die Grenzen von Schicht zu Schicht zwischen den Positionen 31 und 33 verschoben werden. Nicht für jede Schicht muß eine Grenzverschiebung erfolgen. Beispielsweise können mehrere Schichten mit der Grenzziehung 31, mehrere Schichten mit der Grenzziehung 32, mehrere Schichten mit der Grenzziehung

33 usw. ausgeführt werden. Die Grenzziehung kann systematisch oder zufallsgesteuert von einer Schicht zu nächsten verschoben werden, wobei dies jeweils unter Beachtung eines oder beider der eingangs genannten Kriterien zu erfolgen hat.

Fig. 4 zeigt schematisch ein Gesenk, dessen Abmessungen so angenommen werden, daß sie an sich innerhalb einer einzigen Positionierung des Bearbeitungsbereichs der Vorrichtung erreicht werden können. Gleichwohl sind steile Wandungen 47, 48 herzustellen, und der Zapfen kann zu Abschattungen unten am Boden des Gesenks führen. Deshalb werden auch hier Verschiebungen der Relativposition notwendig. Sie entsprechen dem eingangs genannten zweiten Kriterium. Für den Abtrag einer Schicht werden beispielsweise die Relativpositionen entsprechend 41a-d eingestellt, wobei 41a und 41b längs Grenze 40 aneinandergrenzen und 41c und 41d längs Grenze 45. Durch solche Grenzziehungen können die Wände des Zapfens jeweils an bestimmten Sektoren erreicht bzw. unter einem günstigeren Winkel bearbeitet werden. Nach Einstellung der Relativpositionen 41a-d ist die Bearbeitung einer Schicht abgeschlossen.

Für die Bearbeitung der nächsttieferen Schicht können die Grenzziehungen und insbesondere die gemeinsamen Grenzen im Vergleich zur vorherigen Schicht verschoben werden. Anstelle der "Naht" 40 zwischen 41a und 41b kann beispielsweise eine andere Position für die "Naht" gewählt werden, etwa längs Linie 49 und später längs Linie 44. Sinngemäß das gleiche gilt für die "Nähte" 42 und 43. Auch dadurch wird der kumulative Effekt ungleicher Bearbeitungscharakteristika im Bearbeitungsbereich der Vorrichtung vermieden.

46 bezeichnet eine Bearbeitungsstelle, die konstante x- und y-Koordinaten hat. Für diese gleiche Bearbeitungsstelle 46

im Gesenk werden mit Fortschreiten des Gesenks verschiedene Arbeitsbereichsgrenzen 40-45 eingestellt.

Fig. 5 zeigt die Überlegungen hinsichtlich Einfallswinkel des Laserstrahls. Der Laserstrahl ist mit 12 bezeichnet. In der Regel läßt er sich als konisches Werkzeug modellieren, weil es sich um ein auf die momentane Bearbeitungsposition fokussiertes Lichtbündel handelt. Der Konus ist durch die Grenzen 51 und 52 angedeutet. 53 entspricht seiner Mittellachse. 11 ist das Werkstück, 10a,b das herzustellende Gesenk, wobei 55 und 56 endgültige Wandungen des Gesenks sind, während 54 der momentane Boden ist. Die Gesenkwandungen 55, 56 finden im weiteren Verlauf ihre Fortsetzung gemäß den gestrichelten Linien 55a und 56a und erscheinen, wenn das Gesenk in die Tiefe vorgetrieben wird. Um die Wände 55 und 56 möglichst definiert herstellen zu können, ist es wünschenswert, daß der Eintreffwinkel des Laserstrahls nicht allzu schneidend längs der Wand 55 ist. Gezeigt ist ein Winkel  $\beta$ , der der Winkel zwischen Wandtangente im Arbeitspunkt und Mittenachse 53 des Laserstrahls sein soll. Die Relativpositionierung zwischen Werkstück und Bearbeitungskopf soll so sein, daß der Winkel  $\beta > 10^\circ$ , vorzugsweise  $> 15^\circ$  ist. Im Beispiel der Fig. 5 ist die Wand 56 mit der momentanen Relativpositionierung überhaupt nicht erreichbar. Sie ist abgeschattet und kann erst von einem Laserstrahl erreicht werden, wenn die Relativposition geändert wird.

Der Abtrag einer Schicht innerhalb eines Arbeitsbereichs erfolgt in der Regel alternierend zur Veränderung der Relativposition zwischen Werkstück und Bearbeitungskopf. Gleichwohl sind Lösungen denkbar, in denen die Veränderung der Relativpositionierung und der Abtrag in einer Schicht gleichzeitig ausgeführt werden.

Ganz allgemein kann somit gesagt werden, daß die Relativpositionierung zwischen Werkzeug und Werkstück zusätzlich zu sonstigen Kriterien so erfolgt, daß gleiche Stellen im Bearbeitungsbereich des Werkzeugs nicht immer über gleichen Bearbeitungspositionen im Werkstück liegen, wenn der Abtrag schichtweise erfolgt. Dadurch können kumulierende Fehler vermieden und ein Gesenk hoher Qualität erzeugt werden.

Beispielhaft werden nachfolgend einige typischen Zahlenwerte angegeben. Der schichtweise Abtrag erfolgt mit CO<sub>2</sub>-Lasern in Schichtstärken von unter 1 mm, vorzugsweise unter 100 µm, bei YAG-Lasern vorzugsweise unter 10 µm. Die lichte Weite zwischen Kopf 13 und Werkstückoberfläche 11 liegt in der Regel unter 200 mm, vorzugsweise unter 150 mm. Die Abmessungen des Bearbeitungsbereichs sind in der Regel rechteckig, wobei die Seitenlängen Bx, By in der Regel kleiner 100 mm sind. Die Abmessungen des Werkstücks 11 in x- und y-Richtung sind prinzipiell beliebig, wenn Verschiebungen gemäß dem eingangs genannten ersten Kriterium zugelassen werden. Es können Gesenktiefen von wenigen µm bis vielen mm Tiefe erzeugt werden. Bei vergleichsweise feinen Bearbeitungsschritten ist heutzutage (1998) ein YAG-Laser vorzuziehen, insbesondere ein Neodym-YAG-Laser oder ein Q-Switch-YAG-Laser. CO<sub>2</sub>-Laser eignen sich heute für mächtigere Schichtdicken, beispielsweise größer 100 µm.

Die Laserstrahlführung kann durch verschwenkbare Spiegel erfolgen, die einen Laserstrahl aus einer festen Laserstrahlquelle führen. Zwei Spiegel können so angeordnet sein, daß ihre jeweilige Verschwenkung die Bewegung des Leuchtflecks in x- bzw. y-Richtung bewirkt. Die gemeinsame Ansteuerung ermöglicht dann das Überstreichen des Bearbeitungsbereichs mit dem Leuchtfleck.

Die genannten Vorgänge werden durch eine elektronische und in der Regel digitale Steuerung angesteuert, gesteuert bzw. eingeregelt.

### Ansprüche

1. Verfahren zur Materialabtragung aus einer Fläche eines Werkstücks, bei dem der Materialabtrag schichtweise durch Bestrahlen einer Bearbeitungsstelle auf der Werkstückfläche mit einem Laserstrahl aus einem Bearbeitungskopf erfolgt, wobei der schichtweise Abtrag mit Hilfe einer Laserstrahlführung erfolgt, die den Laser innerhalb eines durch die Vorrichtung vorgegebenen Bearbeitungsbereichs über die Fläche des Werkstücks führt,  
gekennzeichnet durch  
Positionierungsschritte, in denen nach Beginn des Materialabtrags die Relativposition von Werkstück und Bearbeitungskopf nach Maßgabe eines ersten und/oder zweiten Kriteriums verändert und so eingestellt wird, daß eine Grenze des Bearbeitungsbereichs für gleiche Bearbeitungsstellen auf unterschiedlichen Bereichen der Werkstückfläche zu liegen kommt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Kriterium die Veränderung der Relativposition zum Abdecken einer zu bearbeitenden Fläche des Werkstücks, die größer ist als der Bearbeitungsbereich, ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Relativpositionierung so erfolgt, daß die Lage einer Grenze des Bearbeitungsbereichs in einer Schicht im Vergleich zu ihrer Lage in einer anderen Schicht verschoben ist.

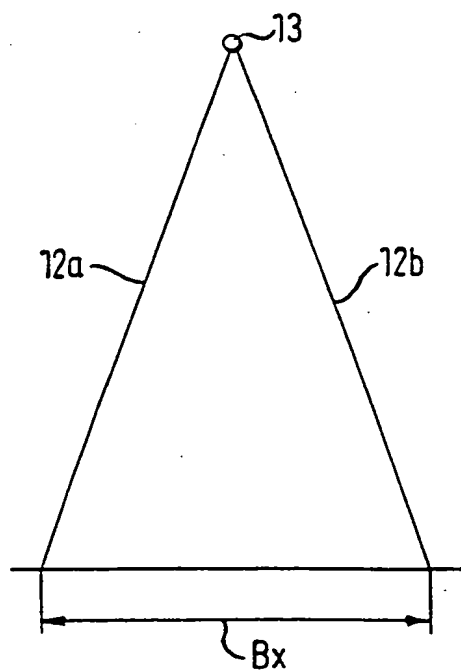
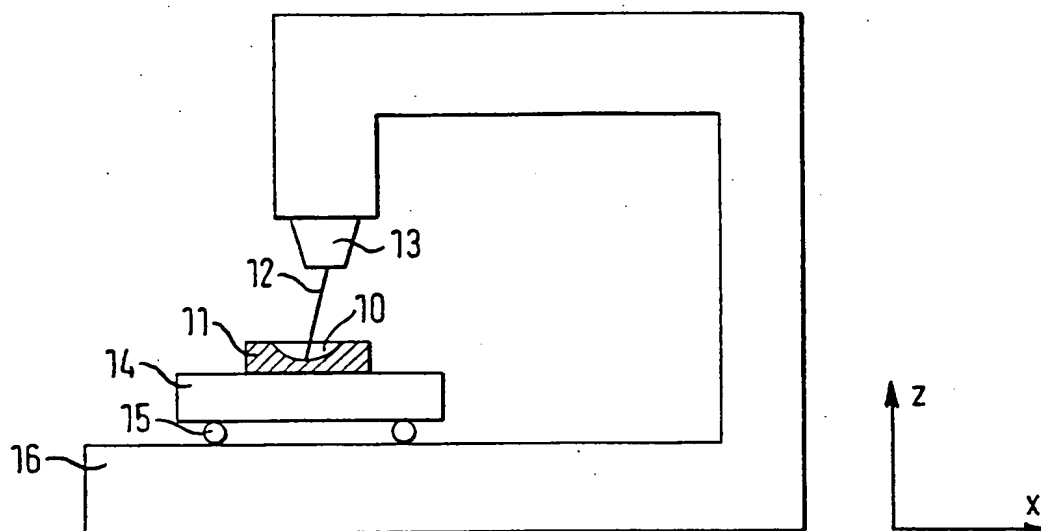
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb einer Schicht die Relativpositionierung so erfolgt, daß die Grenzen des Bearbeitungsbereichs in den unterschiedlichen Relativpositionen unmittelbar aneinander liegen.
5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Kriterium die Veränderung der Relativposition zum Bearbeiten einer bestimmten Bearbeitungsstelle des Werkstücks in einem bestimmten Teilbereich des Bearbeitungsbereichs ist.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß im Rahmen des zweiten Kriteriums der Auftreffwinkel ( $\beta$ ) des Laserstrahls auf der Bearbeitungsstelle und/oder mögliche Abschattungen des Laserstrahls von der Bearbeitungsstelle berücksichtigt werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Positionierung so erfolgt, daß der Auftreffwinkel ( $\beta$ ) mindestens  $10^\circ$ , vorzugsweise mindestens  $15^\circ$  zur erzeugten Oberfläche eines durch den Materialabtrag erzeugten Gesenks beträgt
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Positionierungsschritte und der Abtrag alternierend ausgeführt werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Positionierungsschritte und der Abtrag gleichzeitig ausgeführt werden.
10. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlführung mittels drehbarer Spiegel erfolgt.



11. Vorrichtung zur Materialabtragung aus einer Fläche eines Werkstücks (11), insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Materialabtrag schichtweise durch Bestrahlen einer Bearbeitungsstelle (34, 46) auf der Werkstückfläche mit einem Laserstrahl (12) aus einem Bearbeitungskopf (13) erfolgt, mit einer Laserstrahlführung, die den Laserstrahl (12) innerhalb eines Bearbeitungsbereichs (Bx, By, 31a-d, 41a-d) über die Fläche des Werkstücks (11) führt, gekennzeichnet durch eine Positionierungseinrichtung, die nach Beginn des Materialabtrags die Relativposition von Werkstück (11) und Bearbeitungskopf (13) nach Maßgabe eines ersten und/oder zweiten Kriteriums verändert und so einstellt, daß eine Grenze (31-33, 40-45) des Bearbeitungsbereichs (Bx, By, 31a-d, 41a-d) für gleiche Bearbeitungsstellen (34, 46) auf unterschiedlichen Bereichen der Werkstückfläche zu liegen kommt.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Kriterium die Veränderung der Relativposition zum Abdecken einer zu bearbeitenden Fläche des Werkstücks (11), die größer ist als der Bearbeitungsreich (Bx, By, 31a-d, 41a-d), ist.
13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Kriterium die Veränderung der Relativposition zum Bearbeiten einer bestimmten Bearbeitungsstelle des Werkstücks (11) in einem bestimmten Teilbereich des Bearbeitungsbereichs (41a-d) ist.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlführung mittels drehbarer Spiegel erfolgt.

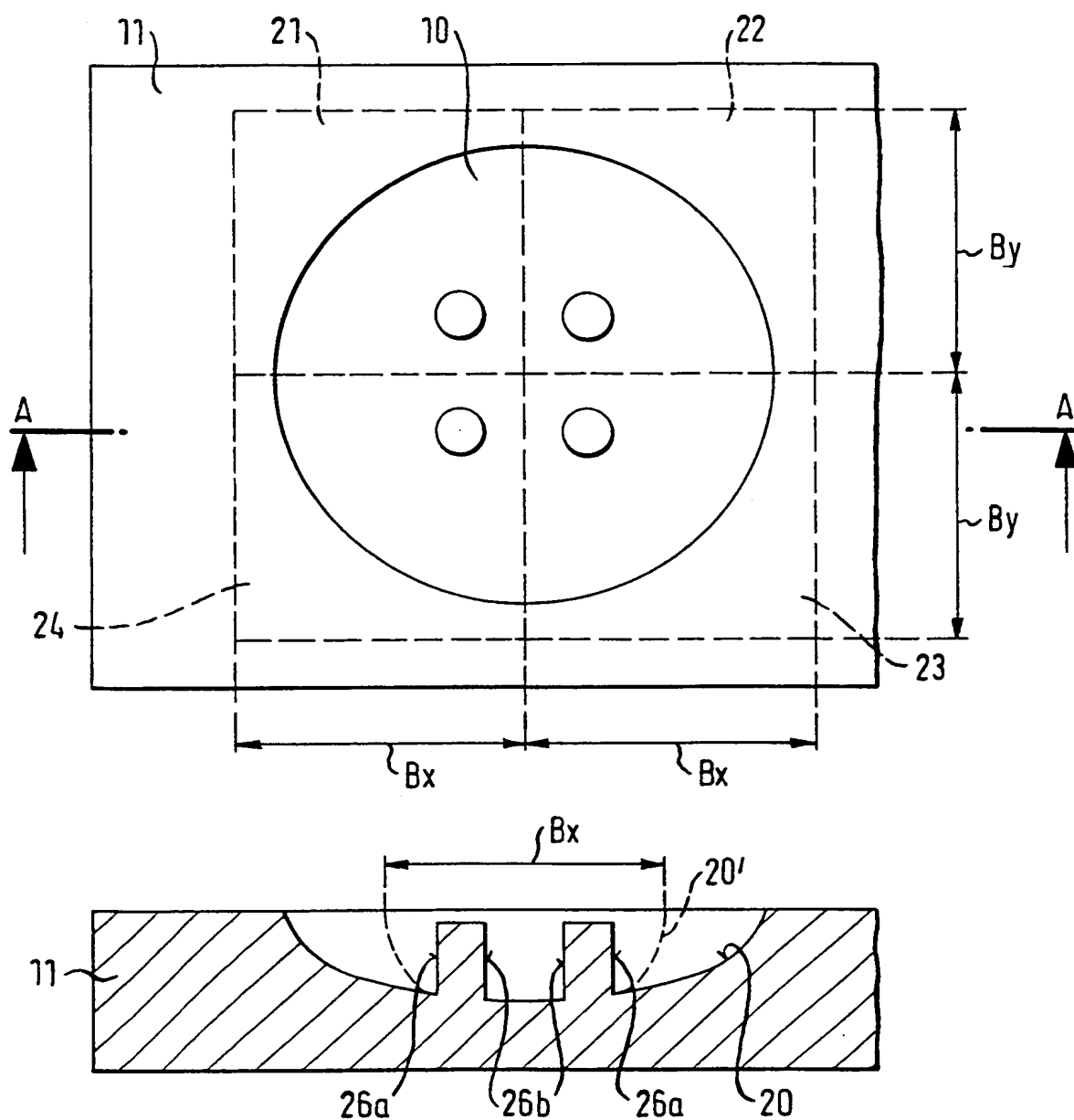
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Bearbeitungsbereich (Bx, By, 31a-d, 41a-d) eine rechteckige Form hat.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Positionierungseinrichtung einen gegenüber einem Ständer (16) verschieblichen Werkstücktisch (14) aufweist.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Positionierungseinrichtung einen gegenüber einem Ständer (16) verschieblichen Laserkopf (13) aufweist.
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser ein YAG-Laser oder ein CO<sub>2</sub>-Laser ist.

FIG. 1



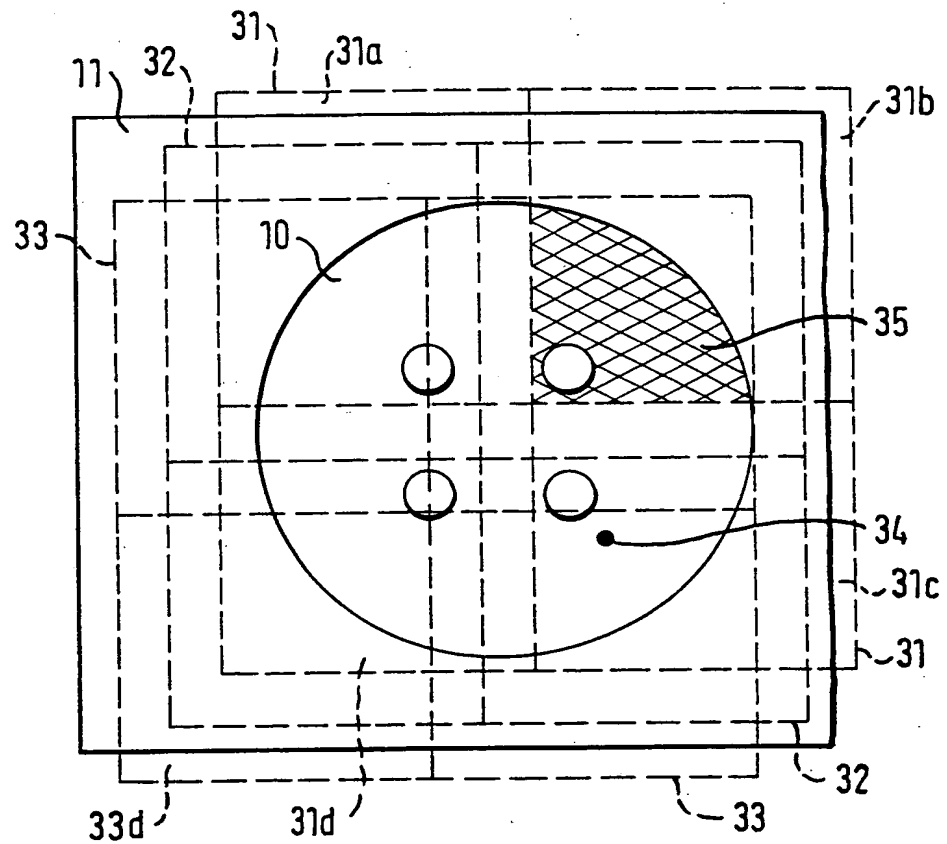
ERSATZBLATT (REGEL 26)

FIG. 2



ERSATZBLATT (REGEL 26)

FIG. 3



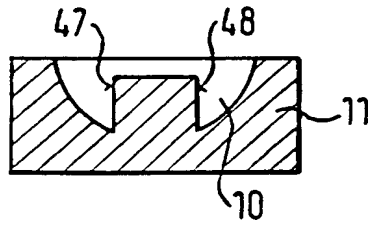


FIG. 4

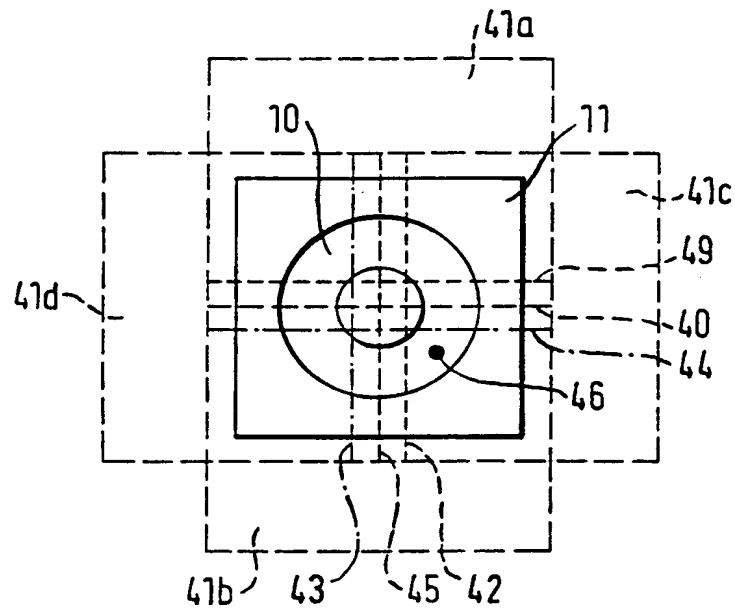
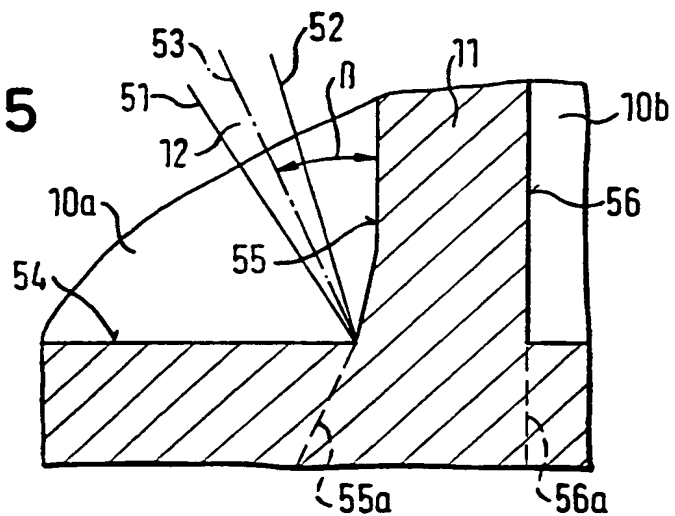


FIG. 5



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No

PCT/EP 98/06217

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 B23K26/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 B23K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 914 270 A (COPLEY STEPHEN M ET AL) 3 April 1990 see the whole document ---	1,6,7, 11,18
A	DE 42 09 933 A (FOBA FORMENBAU GMBH) 30 September 1993 cited in the application see the whole document -----	1,11

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 May 1999

Date of mailing of the international search report

08/06/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Aran, D

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No

PCT/EP 98/06217

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4914270	A	03-04-1990	NONE	
DE 4209933	A	30-09-1993	NONE	



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inte. onales Aktenzeichen

PCT/EP 98/06217

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 B23K26/08

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 6 B23K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 914 270 A (COPLEY STEPHEN M ET AL) 3. April 1990 siehe das ganze Dokument ---	1,6,7, 11,18
A	DE 42 09 933 A (FOBA FORMENBAU GMBH) 30. September 1993 in der Anmeldung erwähnt siehe das ganze Dokument -----	1,11



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

28. Mai 1999

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

08/06/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Aran, D

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 98/06217

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4914270    A	03-04-1990	KEINE	
DE 4209933    A	30-09-1993	KEINE	